

# ANALISIS EFISIENSI AKAR TUMBUHAN BAKAU PANTAI SEBAGAI REDAMAN BENTURAN ENERGI OMBAK LAUT UNTUK MENGURANGI ABRASI DI PANTAI BANJAR SARI PULAU ENGGANO BENGKULU UTARA

Oleh:

Arif Ismul Hadi, Suwarsono, dan Asferiyanta Sembiring  
Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Bengkulu

## ABSTRAK

Penelitian efisiensi akar tumbuhan bakau pantai sebagai redaman benturan energi ombak laut untuk mengurangi abrasi telah dilakukan di Pantai Banjar Sari Pulau Enggano Bengkulu Utara bertujuan untuk menganalisis energi traslasi sebelum dan sesudah membentur akar bakau, konstanta faktor redaman rata-rata akar bakau, dan besar efisiensi redaman akar bakau. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran tinggi ombak dengan alat pipa pitometer. Berdasarkan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan diperoleh energi sebelum membentur akar bakau sebesar 473,09 J, energi setelah membentur akar bakau sebesar 101,62 J, konstanta faktor redaman rata-rata akar bakau diperoleh sebesar 5,09, dan rata-rata efisiensi redaman akar bakau diperoleh 78,75%.

Kata kunci: Efisiensi akar tumbuhan bakau, energi ombak laut, dan abrasi.

## I. PENDAHULUAN

Pulau Enggano merupakan salah satu pulau kecil di Pantai Barat Sumatera, yang mempunyai panjang sekitar 42 km dan lebar 16 km. Secara administratif, Pulau Enggano terletak dalam wilayah Kabupaten Bengkulu Utara, Kec. Enggano, dengan letak geografis  $102,05^{\circ}$ - $102,23^{\circ}$  BT dan  $05,17^{\circ}$ - $05,30^{\circ}$  LS. Pulau Enggano memiliki luas lebih kurang 40.000 ha (<http://www.google.com/berita/BengkuluInvestemenInformationCenter.html>). Berdasarkan pengamatan di lapangan daerah ini berpotensi terjadi abrasi yang dapat menyebabkan rusaknya beberapa bagian pantai. Oleh karena itu masalah abrasi haruslah ditangani sebelum mendatangkan bencana, khususnya di Pulau Enggano yang memiliki luas relatif kecil.

Salah satu cara yang paling efektif untuk meredam abrasi ini adalah dengan pemanfaatan tumbuhan bakau (mangrove) yang sering hidup di daerah pesisir pantai dengan akar yang sangat kokoh. Mangrove merupakan formasi-formasi tumbuhan pantai yang khas di sepanjang pantai tropis dan sub tropis yang terlindung. Formasi mangrove merupakan perpaduan antara daratan dan lautan. Umumnya mangrove mempunyai sistem perakaran yang menonjol yang disebut akar nafas (*pneumatofor*). Sistem perakaran ini merupakan suatu cara adaptasi terhadap keadaan tanah yang miskin oksigen atau bahkan *anaerob* (<http://www.lablank.or.id/Eko/Wetland/lhbs-mangrove.htm>).

Karakteristik hutan mangrove dapat dilihat dari berbagai aspek seperti *floristic*, iklim, temperatur, salinitas, curah hujan, geomorfologi, hidrologi dan drainase. Secara umum karakteristik habitat mangrove digambarkan sebagai berikut (Bengen, 2000): (1) umumnya

tumbuh pada daerah intertidal yang jenis tanahnya berlumpur, berlempeng atau berpasir. (2) daerahnya tergenang air laut secara berkala, baik setiap hari maupun yang hanya tergenang pada saat pasang purnama. (3) menerima pasokan air tawar yang cukup dari darat, dan (4) terlindung dari gelombang besar dan arus pasang surut yang kuat.

Menurut Walter (1971) dalam **Ismulhadi dkk. (2006)**, ekosistem mangrove terutama didapatkan di tiga wilayah iklim berikut ini: (1) Zona khatulistiwa antara  $\pm 10$  LU dan 5-10 LS, (2) Zona kering hujan tropika, zona sebelah utara dan selatan khatulistiwa sampai  $\pm 25$ -30 LU dan LS dan (3) Zona yang beriklim sedang yang pada musim dingin tidak terlalu dingin dan hanya terdapat di belahan batas timur dari benua pada zona ini.

Akar-akar mangrove yang unik dan menarik (ada yang berbentuk cakar ayam, pensil dan lain-lain), mampu menjebak sedimen, sehingga membentuk daratan baru. Fungsi lain yang tidak kalah pentingnya adalah sebagai peredam gelombang tsunami. Fakta di NAD membuktikan bahwa perumahan penduduk yang terlindung oleh mangrove tidak banyak mengalami kerusakan, apabila dibandingkan dengan perumahan yang tidak terlindungi. Hal ini karena gelombang tsunami mampu diredam hingga sekian persen (oleh mangrove) tergantung kerapatan volume ruang akar dan pohon mangrove yang tumbuh pada daerah tersebut, sehingga kekuatan saat menerpa perumahan bisa tereduksi dan tidak terlalu besar lagi ([http://www.google.com/hutan mangrove/apakah fungsi mangrove itu.html](http://www.google.com/hutan%20mangrove/apakah%20fungsi%20mangrove%20itu.html)).

Abrasi adalah proses pengikisan pantai oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak. Kerusakan garis pantai akibat abrasi dipacu oleh terganggunya keseimbangan alam daerah pantai. **Lange dan Ivanova (1991)**, menyatakan bahwa gerakan geologis laut meliputi bidang-bidang *erosi* (pengikisan permukaan dan lapisan tanah), *transportasi* (pemindahan hasil erosi), *grinding* (pemerataan atau penggusuran permukaan tanah) *sorting* (pemisahan permukaan atau bidang tanah), *deposits* pengendapan hasil erosi) dan *transformasi* (pemindahan permukaan tanah dari satu tempat ke tempat yang lain). Aksi geologis ini ditunjukkan untuk mengikis semua daratan dan pulau menjadi sama rata dengan permukaan laut dengan kecenderungan pengurangan luas wilayah ini maka timbullah suatu abrasi. Kegiatan abrasi ini terlihat sepanjang garis pantai dan semua pulau dan benua. Salah satu aksi geologis ini dilakukan oleh ombak laut yang masih dipengaruhi oleh angin lokal.

Gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin tergantung pada kecepatan angin, lama angin bertiup, luas daerah tempat angin bertiup dan kedalaman laut. Gelombang laut ada dua macam, yaitu gelombang osilasi dan gelombang translasi. Gelombang osilasi adalah gelombang yang tampak sebagai gerakan air laut naik turun karena gerakan melingkar molekul air. Gelombang ini biasanya terjadi di laut lepas yang dalam. Sedangkan gelombang

translasi adalah gelombang yang massa airnya bergerak dengan arah gerakan gelombang ini tanpa diimbangi gerakan mundur. Gelombang ini tidak memiliki puncak dan lembah.

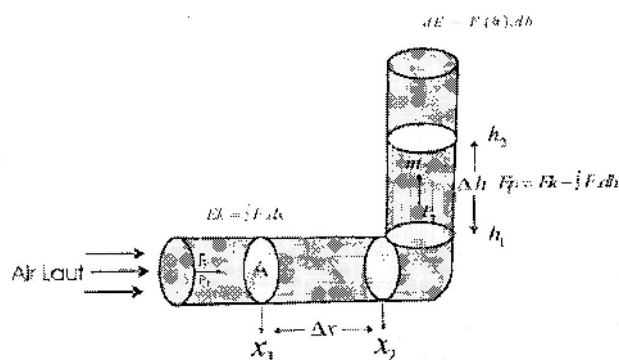
Di lepas pantai yang dangkal, gerakan gelombang osilasi berubah menjadi gerakan gelombang translasi. Akibatnya puncak gelombang dari gerakan gelombang osilasi terus memuncak dan terus condong kedepan membentuk lengkungan, sampai akhirnya terlalu condong sehingga puncak roboh berjungkir-jungkir membentuk apa yang kita kenal sebagai ombak pecah/gelombang translasi. Gerakan gelombang translasi ini diperkirakan sumber destruktif alami pada tebing pantai. Proses pengikisan yang berlangsung terus-menerus dalam waktu yang lama, akan menyebabkan posisi garis pantai mundur ke daratan dan dinamakan abrasi (Lange dan Ivanova, 1991).

Energi ombak laut terdiri dari energi potensial dan energi kinetik, kedua energi ini merupakan energi dasar yang dalam perjalanan di laut dapat berubah menjadi berbagai bentuk gerakan air laut. Kerapatan energi total rata-rata ombak laut dinyatakan sebagai (Le Blond dan Mysaj, 1981):

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 (1 + B) \quad (1)$$

dengan:  $A$  = amplitudo ombak,  $B$  = Blond number ( $B \ll 1$ ),  $g$  = percepatan gravitasi bumi, dan  $\rho$  = massa jenis air laut. Persamaan (1) menunjukkan bahwa energi total rata-rata ombak laut hanya memiliki variabel amplitudo yang dapat diukur di lapangan dengan mengukur ketinggian ( $h$ ) ombak laut yang bergerak secara translasi dan rotasi, kekuatan energi translasi sangat ditentukan oleh besarnya energi potensial ombak (amplitude ombak). Energi translasi ombak laut dalam penelitian ini diukur dengan pipa pitometer (Gambar 1). Adapun tekanan hidrostatik dalam pipa vertikal dinyatakan sebagai (Halliday dan Resnick, 1990):

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$



Gambar 1. Pipa Pitometer (Halliday dan Resnick, 1990)

Menurut hukum kekekalan energi, energi translasi (maksimum) pada pipa horizontal akan sama dengan energi potensial (maksimum) pada pipa vertikal (Halliday dan Resnick, 1990). Perubahan energi dinyatakan sebagai berikut:

$$dE = F(h).dh \quad (3)$$

Maka energi translasi tiap satuan luas pipa adalah:

$$\begin{aligned} \frac{E}{A} &= \int F(h).dh : \text{Untuk } F(h) = \rho g h .A \\ E &= \frac{1}{2} \rho g (h_2^2 - h_1^2) \text{ jika } h_1 = 0 \text{ dan } h_2 = h \\ E &= \frac{1}{2} \rho g h^2 \end{aligned} \quad (4)$$

dengan:  $\rho$  = massa jenis air laut,  $g$  = Percepatan gravitasi bumi dan  $h$  = ketinggian permukaan air laut dalam pipa pitometer.

Tancapan bakau yang mampu meredam energi ombak terdiri dari kerapatan pancang akar bakau yang arah tancapannya berbeda-beda. Dengan kata lain kemiringan tancapan tiap-tiap akar bakau pada setiap rumpun tidak sama. Oleh karena itu, diambil sampel penelitian dengan cara peredaman akar bakau pada setiap tumpunnya persatuan volume. Volume yang diambil pada setiap rumpun akar bakau tersebut adalah panjang ( $p$ ), lebar ( $l$ ) dan tinggi ( $t$ ), sehingga didapatkan volume ruang dari rumpun akar dengan rumus sebagai berikut:

$$V_r = p \times l \times t \quad (5)$$

Jumlah tancapan akar bakau yang berbeda, mengakibatkan terjadinya perubahan volume akar per satuan volume ruang di dalam rumput akar bakau. Sehingga diperoleh volume akar untuk satu tancapan akar bakau ( $V_a$ ) adalah:

$$V_a = \pi \times r^2 \times y \quad (6)$$

Dalam hal ini  $r$  adalah jari-jari akar bakau atau  $r = D/2$  dan  $y$  adalah tinggi akar, sedangkan volume akar untuk banyaknya tancapan akar bakau ( $V_{a \text{ total}}$ ) adalah:

$$V_{a \text{ total}} = \sum V_a \quad (7)$$

Defenisi kerapatan volume akar ( $\sigma_{Volume \text{ Akar}}$ ) per satuan volume ruang adalah:

$$(\sigma_{Volume \text{ Akar}}) = \frac{V_{a \text{ total}}}{V_r} \quad (8)$$

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam menghitung seberapa besar energi translasi yang teredam di dalam bakau  $E_{bakau}$  atau energi yang hilang adalah energi translasi sebelum

membentur akar bakau adalah  $E_0 = \frac{1}{2} \rho g h_0^2$ . Energi translasi sesudah membentur akar bakau adalah  $E_b = \frac{1}{2} \rho g h_b^2$ , sedangkan  $E_{bakau}$  dapat dicari (Jarnawi, 2002).

$$E_0 = E_b + E_{bakau} \quad (9)$$

konstanta redaman dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E_0 = (k) E_b \quad (10)$$

sedangkan efisiensi redaman akar tumbuhan bakau dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \left( \frac{E_{bakau}}{E_0} \right) \times 100\% \quad (11)$$

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, pengukuran langsung di lapangan. Pengambilan data dilakukan pada setiap ombak pasang yang naik. Adapun prosedur penelitian tersebut adalah sbb:

- Memasang dua alat pengukuran kekuatan ombak (pitometer) secara kuat sebelum membentur akar tumbuhan bakau dengan klem kerangka besi. Alat tersebut terletak 1 meter di depan rumpun akar tumbuhan bakau dan jarak antara masing-masing alat 0,5 meter.
- Memasang dua alat pengukur ombak (pitometer) secara kuat setelah membentur akar tumbuhan bakau dengan klem kerangka besi atau bahan lain. Alat tersebut terletak 0,5 meter di belakang rumpun akar bakau dan jarak antar alat 0,5 meter satu sama lainnya.
- Mencatat data pengukuran tinggi air laut pada pitometer.
- Menghitung energi translasi ombak dengan menggunakan persamaan (4), selanjutnya dihitung energi rata-rata dari ketiga pipa pitometer tersebut.
- Mencatat data diameter tiap-tiap akar bakau.
- Menghitung diameter rata-rata akar bakau tersebut.
- Menentukan volume ruang yang ditumbuhi akar bakau, yakni dengan mengukur panjang ( $p$ ), lebar ( $l$ ) dan tinggi ( $t$ ) daerah yang ditumbuhi hutan bakau terkena ombak dan menghitung volume ruang ( $V_r$ ) dengan menggunakan persamaan (5).
- Menentukan kerapatan volume akar persatuan volume ruang yang ditumbuhi akar bakau yakni: menghitung jumlah tancapan akar persatuan volume ruang, volume akar dalam satu satuan volume ruang ( $V_a \text{ total}$ ) dengan persamaan (7), dan menghitung kerapatan volume akar per satuan volume ruang ( $\sigma_{\text{Volume Akar}}$ ) dengan persamaan (8).

- i. Selanjutnya menentukan efisiensi redaman akar bakau dengan persamaan (11) dengan terlebih dahulu mencari konstanta redamannya (persamaan 10).

### III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil ketinggian ombak laut yang diukur pada pitometer digunakan sebagai menghitung energi translasi ombak laut, dimana pada setiap pitometer akan diketahui seberapa besar energi translasi yang diberikan air laut tersebut dengan persamaan (4), dimana sebelum menghitung energi translasi terlebih dahulu mengetahui massa jenis air laut dan besar gaya gravitasi bumi. Pada penelitian ini massa air laut telah dihitung rata-rata sebesar  $1052,25 \text{ kg m}^{-3}$ , dan nilai gravitasinya sebesar  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ .

Berdasarkan penelitian ini diperoleh nilai energi translasi di depan bakau atau sebelum membentur akar bakau dengan rata-rata 473,09 J dan energi translasi di belakang bakau atau sesudah membentur akar bakau dengan rata-rata 101,62 J. Nilai energi translasi sebelum membentur akar bakau diperoleh dari besar energi translasi rata-rata dari kedua pipa tersebut ( $E_0$ ), begitu juga di belakang bakau diperoleh rata-rata energi translasi sesudah membentur bakau ( $E_b$ ). Hasil pengukuran dan perhitungan energi translasi ombak laut dari setiap rumpun dengan volume ruang daerah yang ditumbuhi akar bakau, dicantumkan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan antara  $E_0$  dan  $E_b$ .

Data Bakau	Energi translasi rata-rata sebelum membentur akar bakau $E_0$ (J)	Energi translasi rata-rata sesudah membentur akar bakau $E_b$ (J)
1	511,14	84,50
2	333,41	89,61
3	277,81	44,49
4	329,54	88,85
5	876,50	221,88
6	510,13	81,06

Diameter akar bakau diperoleh dengan cara dicari rata-rata diameter dari setiap akar bakau. Pada data tersebut terdapat jumlah tancapan akar bakau yang berbeda-beda setiap rumpunnya. Dalam penelitian ini didapatkan rata-rata diameter setiap rumpun bakau seperti diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Diameter akar bakau per satuan volume ruang.

Data Bakau	Rata-rata diameter akar bakau (m)
1	6,72
2	6,62
3	6,51
4	6,62
5	6,37
6	6,42

Pengukuran volume ruang dilakukan untuk setiap rumpun akar bakau dengan mengukur panjang, lebar dan tinggi ruang rumpun akar bakau. Pengukuran panjang dan tinggi pada volume ruang setiap rumpun akar bakau diambil secara berturut-turut adalah untuk panjang diambil 2 meter, tinggi 1 meter, sedangkan lebar tergantung pada kondisi letak rumpun bakau pada lokasi. Hasil-hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran volume ruang rumpun akar bakau.

Data bakau	$p$ (m)	$l$ (m)	$t$ (m)	$V_r$ (m <sup>3</sup> )
1	2	1,85	1	3,7
2*	2	1,2	1	2,4
3	2	1,8	1	3,6
4*	2	1,2	1	2,4
5	2	1,1	1	2,2
6	2	1,5	1	3

Ket: \*) merupakan rumpun yang sama.

Hasil perhitungan tancapan akar bakau dilakukan dengan menghitung jumlah akar dalam satu rumpun yang telah terlebih dahulu ditentukan volume ruangnya. Dalam penelitian didapatkan hasil perhitungan jumlah akar didalam volume ruang ( $V_r$ ) yang dikaitkan dengan volume akar bakau per satuan volume ruang ( $V_{a\ total}$ ), kerapatan akar bakau persatuan volume ruang ( $\sigma_{Volume\ Akar}$ ), dan konstanta redaman ( $k$ ) seperti diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan jumlah tancapan akar bakau,  $V_{a\ total}$

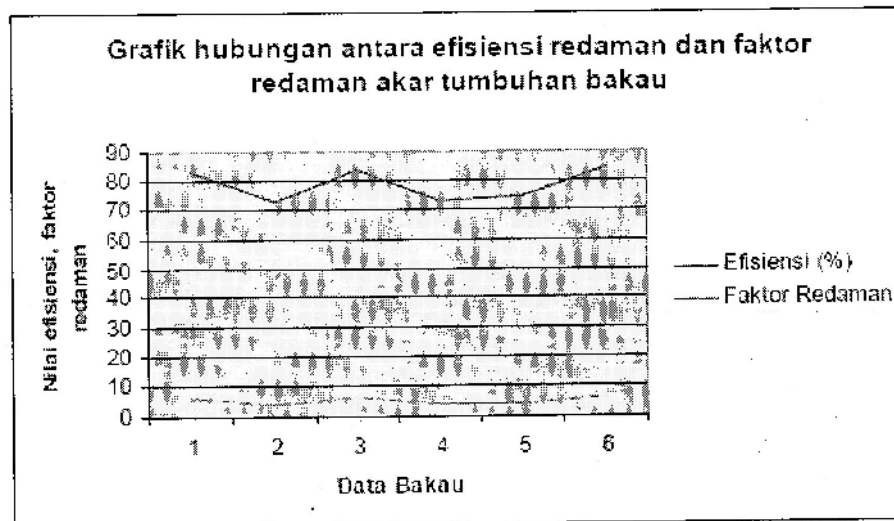
Data Bakau	1	2	3	4	5	6
$n$ (tancapan)	125	74	108	74	82	144
$V_r$ (m <sup>3</sup> )	3,7	2,4	3,6	2,4	2,2	3
$V_{a\ total}$ (m <sup>3</sup> )	0,255	0,101	0,216	0,101	0,107	0,235
$\sigma_{Volume\ Akar}$	0,07	0,04	0,06	0,04	0,05	0,08
Konstanta ( $k$ )	6,16	3,80	6,45	3,75	3,99	6,37

Berdasarkan tabel 4, terlihat bahwa kerapatan akar dipengaruhi oleh volume akar, jika volume akar besar maka kerapatan volume akar persatuan volume ruang menjadi besar dan sebaliknya. Demikian juga semakin besar kerapatan akar bakau persatuan volume ruang, maka konstanta redamannya semakin besar, sebaliknya semakin kecil kerapatan akar bakau persatuan volume ruang, maka konstantan redamannya semakin kecil juga. Adapun hubungan energi translasi sebelum dan sesudah membentur akar bakau dengan efisiensi redamannya ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hubungan energi translasi sebelum dan sesudah membentur akar bakau dengan efisiensi redamannya.

Data Bakau	$E_0(\text{J})$	$E_b(\text{J})$	$\eta (\%)$
1	511.137	84,52	83,464
2	333,419	89,614	73,123
3	277,809	44,494	83,984
4	329,542	88,849	73,039
5	876,498	221,188	74,765
6	510,127	81,063	84,109

Hasil-hasil di atas menunjukkan adanya korelasi antara kerapatan volume akar, faktor redaman dan efisiensi akar tumbuhan bakau yang satu sama lainnya saling mempengaruhi. Apabila kerapatan akar tumbuhan bakau besar maka faktor redaman dan efisiensinya semakin besar pula dan sebaliknya, apabila kerapatan akar tumbuhan bakau kecil maka faktor redaman dan efisiensinya semakin kecil pula. Hubungan antara efisiensi redaman dengan faktor redaman adalah apabila faktor redaman semakin besar maka nilai efisiensi redamannya akan semakin besar pula dan sebaliknya, apabila faktor redaman kecil maka efisiensi redaman akan semakin kecil juga. Dalam enam kali pengukuran rata-rata efisiensi redaman yang didapatkan secara keseluruhan adalah 78,75%, ini berarti energi translasi yang lewat dari redaman akar bakau hanya sebesar 21,25%. Grafik hubungan antara efisiensi redaman dengan faktor redaman ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Grafik hubungan antara efisiensi redaman dengan faktor redaman.

#### IV. Kesimpulan

1. Rata-rata energi translasi ombak laut sebelum membentur akar bakau adalah 473,09 J dan sesudah membentur akar bakau adalah 101,62 J.
2. Konstanta redaman rata-rata akar bakau adalah 5,09.
3. Efisiensi redaman rata-rata adalah 78,75 %.



## DAFTAR PUSTAKA

- Halliday dan Resnick. 1990. *Fundamental of Physics*. John Wiley & Sons, Inc., Singapura.
- [http://www.google.com/berita/Bengkulu Investmen Information Center.html](http://www.google.com/berita/Bengkulu%20Investmen%20Information%20Center.html).
- [http://www.google.com/hutan mangrove/apakah fungsi mangrove itu.html](http://www.google.com/hutan%20mangrove/apakah%20fungsi%20mangrove%20itu.html).
- <http://www.lablink.or.id/Eko/Wetland/lhbs-mangrove.htm>.
- Ismulhadi, A., Lidiawati, L. dan Suwarsono. 2006. Efisiensi Akar Tumbuhan Bakau Pantai Sebagai Peredam Benturan Ombak Laut di Pantai Teluk Sepang Bengkulu. *Jurnal Ilmiah MIPA, Vol. IX, No 1*.
- Jarnawi, M. 2002. *Efisiensi Akar Tumbuhan Bakau Pantai sebagai Redaman Benturan Energi Ombak Laut untuk Mengurangi Abrasi di Pantai Pasar Ngalam Sukaraja Bengkulu Selatan*, Laporan Skripsi, Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Lange dan Ivanova. 1991. *Geologi Umum*. Gaya Media Pratama, Jakarta.
- Le Blond, P.H dan Mysaj, L.A. 1981. *Wave in the Ocean*. Elsevier Oceanography Series, New York.